

**RUTINAS DE MANTENIMIENTO TÉCNICO DE LOS EQUIPOS ASOCIADOS A
LOS SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN DE POLÍMERO Y CLORURO FÉRRICO DE
LA PTAR-C**

ROBERTO ÁNGEL URBANO RESTREPO

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERIAS
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA INGENIERIA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2006**

**RUTINAS DE MANTENIMIENTO TÉCNICO DE LOS EQUIPOS ASOCIADOS A
LOS SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN DE POLÍMERO Y CLORURO FÉRRICO DE
LA PTAR-C**

ROBERTO ÁNGEL URBANO RESTREPO

**Pasantía para optar al título de
Ingeniero Mecatrónico**

**Coordinador académico
JOSE IGNACIO PEREZ CHAPARRO
Ingeniero Eléctricista**

**Asesor empresarial
CESAR TULIO DELGADO
Ingeniero de Proyectos II
Planta Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo
EMCALI E.I.C.E E.S.P**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERIAS
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA INGENIERIA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2006**

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecatrónico.

ANDRES NAVAS

Jurado

BERNARDO SABOGAL

Jurado

Santiago de Cali, 17 de Noviembre de 2006

A mis Padres, a mi hermana porque son los pilares de la persona quien soy ahora, a mi novia Mónica por apoyarme en cada momento y amarme como siempre lo has demostrado, a mis amigos de mi infancia (Cesar, Cristian y Edwin) por ser los hermanos que siempre querré y que me aconsejan para construir un camino recto para mi futuro.

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a:

Dios y mi familia, por ser la causa de mi vida, mi apoyo constante, la razón de mis logros y los guías en mi camino.

Nathalie, por ser mi amiga y mi compañera incondicional en mi vida.

Mónica por ser mi bastón en toda mi travesía.

Mis amigos por ser no solo amigos, sino también el mejor equipo.

JOSE IGNACIO PEREZ CHAPARRO, Ingeniero Electricista de la Universidad Autónoma de Occidente, asesor académico de esta pasantía por su aporte en todo el proceso de desarrollo de este documento.

CESAR TULIO DELGADO, Ingeniero de Proyectos II de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo y responsable directo en el sitio del desarrollo de esta pasantía, por ser un gran maestro y compartir conmigo su amplio conocimiento.

OLGA, JHON FREDY, HUGO, ANDREA, ANDRES y a todos los miembros directos e indirectos del Área de Instrumentación y Control de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo por su gran colaboración y aporte a mi formación como profesional.

A todas las personas anteriormente mencionadas y aquellas que no, pero que hoy hacen parte de mi vida y mi memoria por contribuir a la construcción del ser humano, de la persona, del hijo, del novio, del amigo, del profesional que hoy, me hacen ser.

CONTENIDO

GLOSARIO	Pág. 11
RESUMEN	14
INTRODUCCIÓN	15
1. PLANTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES-CANAVERALEJO (PTAR-C)	16
1.1 RESEÑA HISTÓRICA	16
1.2 MISIÓN Y VISIÓN	17
1.2.1 Misión	17
1.2.2 Visión	17
1.3 PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	17
1.3.1 Ingreso de aguas residuales	17
1.3.2 Tratamiento preliminar	20
1.3.3 Sedimentación primaria	20
1.3.4 Espesamiento de lodos	20
1.3.5 Digestión de lodos	20
1.3.6 Deshidratación de lodos	21
1.3.7 Aprovechamiento de energía	21
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.5 PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN	22
1.6 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA PTAR-C	22
1.6.1 Equipo del área de mantenimiento de la PTAR-C	22
1.6.2 Tipo, forma y periodos de ejecución del mantenimiento	23
1.6.3 Papelería generada	27
1.7 OBJETIVOS	28
1.7.1 Objetivo general	28
1.7.2 Objetivos específicos	28
2. MANTENIMIENTO	29
2.1 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO	29
2.1.1 Objetivos del mantenimiento	29
2.2 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO	30
2.2.1 Mantenimiento periódico	30
2.2.2 Mantenimiento programado	30
2.2.3 Mantenimiento predictivo	30
2.2.4 Mantenimiento preventivo	30
2.2.5 Mantenimiento correctivo	31
2.3 METODO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	31
2.4 LA IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFASE GRAFICA	33
3. TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO (TPA)	40
3.1 DESCRPCIÓN GENERAL DE LAS ESTRUCTURAS	42
3.1.1 Polímero: suministro, almacenamiento, preparación, dosificación y transporte	42

3.1.2	Preparación de polímero y almacenamiento	43
3.1.3	Bomba dosificadora de polímero	44
3.1.4	Bombas de agua de dilución para el polímero	45
3.1.5	Cloruro férrico: suministro, almacenamiento y dosificadores	45
3.2	FUNCIONAMIENTO DE TPA	48
3.2.1	Ensayo de Tratabilidad	48
3.2.2	Dosificación Cloruro Férrico	49
3.2.3	Dosificación Polímero	49
4.	CONCLUSIONES	50
	BIBLIOGRAFIA	51
	ANEXOS	54

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Vista área de la PTAR-C	16
Figura 2. Esquema de proceso del tratamiento de aguas residuales	19
Figura 3. Integrantes del equipo del área de mantenimiento de la PTAR-C	23
Figura 4. Diagrama de flujo para la gestión de mantenimiento	32
Figura 5. Ciclo de control de mantenimiento	33
Figura 6. TPA en la interfase grafica	34
Figura 7. Operación de los equipos asociados al subsistema de dosificación de cloruro férrico	35
Figura 8. Operación de los equipos asociados al subsistema de dosificación de polímero	36
Figura 9. Introducción al sistema de mantenimiento y su filosofía	37
Figura 10. Rutinas de mantenimiento técnico de los equipos asociados al sistema de dosificación de productos químicos	38
Figura 11. Las fallas / soluciones de los equipos asociados al sistema de dosificación de productos químicos	39
Figura 12. Esquema de ubicación TPA en el proceso	41
Figura 13. Tolva y motor agitadores unidad de dosificación de polímero	42
Figura 14. Diagrama del proceso de dosificación del polímero	43
Figura 15. Bombas dosificadoras polímero	45
Figura 16. Tanques para almacenamiento de cloruro férrico	46
Figura 17. Bombas para cloruro férrico	47
Figura 18. Diagrama del proceso de dosificación de cloruro férrico	48

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Frecuencia de mantenimiento motor tornillo y motor agitador	24
Tabla 2. Frecuencia de mantenimiento reductor tornillo y reductor agitador	24
Tabla 3. Frecuencia de mantenimiento del motovariador del agitador	25
Tabla 4. Frecuencia de mantenimiento bomba de la bomba dosificadora de polímero	25
Tabla 5. Frecuencia de mantenimiento motor de la bomba dosificadora de polímero	25
Tabla 6. Frecuencia de mantenimiento switch de presión de la bomba dosificadora de polímero	26
Tabla 7. Frecuencia de mantenimiento bomba dilución de polímero	26
Tabla 8. Frecuencia de mantenimiento bomba de la bomba dosificadora de cloruro férrico	26
Tabla 9. Frecuencia de mantenimiento motor de la bomba dosificadora de cloruro férrico	27
Tabla 10. Frecuencia de mantenimiento nivometría ultrasónica prosonic FMU860	27

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Distribución PTAR-Cañaveralejo	54
Anexo B. Modelo de orden de trabajo preventivo	55
Anexo C. Modelo orden de trabajo no planificado	56

GLOSARIO

AFLUENTE: Agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o algún proceso de tratamiento.

AGUAS CRUDAS: Aguas residuales que no han sido tratadas.

AGUAS RESIDUALES: Agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria.

AGUAS SERVIDAS: Aguas de desecho provenientes de lavamanos, tinas de baño, duchas, lavaplatos, y otros artefactos que no descargan materias fecales.

AIREACIÓN: Proceso de transferencia de masa, generalmente referido a la transferencia de oxígeno al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).

BOMBA DESPLAZAMIENTO POSITIVO, CAVIDAD PROGRESIVA: Se dice que una bomba es de desplazamiento positivo, cuando su órgano propulsor contiene elementos móviles de modo tal que por cada revolución se genera de manera positiva un volumen dado o cilindrada, independientemente de la contrapresión a la salida. Otra definición dice que las bombas de desplazamiento positivo son las que desplazan una cantidad constante de líquido, independientemente de la presión del sistema.

BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL: Las bombas en las cuales el fluido es desplazado por el movimiento circular de uno o varios impulsores provistos de alabe.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO) Ó DEMANDA DE OXÍGENO: Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

DESARENADORES: Cámara diseñada para permitir la separación gravitacional de sólidos minerales (arena).

DESCOMPOSICIÓN ANAEROBIA: Degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular por efecto de microorganismos. Usualmente va acompañada de la generación de ácidos y gas metano.

DESHIDRATACIÓN DE LODOS: Proceso de remoción del agua de lodos hasta formar una pasta.

DIGESTIÓN: Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en presencia de oxígeno.

DIGESTIÓN AEROBIA: Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en presencia de oxígeno.

DIGESTIÓN ANAEROBIA: Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en ausencia de oxígeno.

EFLUENTE: Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

LODOS ACTIVADOS: Procesos de tratamiento biológico de aguas residuales en ambiente químico aerobio, donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Esta alta concentración de microorganismos se logra con un sedimentador que retiene los flóculos biológicos y los retorna al tanque aireado.

METALES PESADOS: Son elementos tóxicos que tiene un peso molecular relativamente alto. Usualmente tienen una densidad superior a 5,0 g/cm³ por ejemplo, plomo, plata, mercurio, cadmio, cobalto, cobre, hierro, molibdeno, níquel, zinc.

PLANTA DE TRATAMIENTO (DE AGUA RESIDUAL): Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales.

REJA GRUESA: Por lo general, de barras paralelas de separación uniforme (4 a 10 cm.), utilizado para remover sólidos flotantes de gran tamaño, aguas arriba de bombas de gran capacidad

RCM2 – RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE (MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD): Es un procedimiento sistemático y estructurado para determinar los requerimientos de mantenimiento de los activos en su contexto de operación.

Esta metodología fue desarrollada por John Moubray de Aladon Ltd., y no solo cumple con la norma SAE JA 1011, referida a certificación de procesos RCM, sino que es una de las tres referencias de dicha norma.

Consiste en analizar las funciones de los activos, ver cuales son sus posibles fallas, luego preguntarse por los modos o causas de fallas, estudiar sus efectos y analizar sus consecuencias.

SST: Sólidos Suspendidos Totales.

SEDIMENTACIÓN: Proceso físico de clarificación de las aguas residuales por efecto de la gravedad, junto con los sólidos sedimentables precipita materia orgánica del tipo putreccible.

TRATAMIENTO AVANZADO: Proceso de tratamiento fisicoquímico o biológico usado para alcanzar un grado de tratamiento superior al de tratamiento secundario. Puede implicar la remoción de varios parámetros, como remoción de sólidos en suspensión, complejos orgánicos disueltos, compuestos inorgánicos disueltos o nutrientes.

TRATAMIENTO PRIMARIO: Tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por operaciones físicas como la sedimentación. El efluente del tratamiento primario usualmente contiene alto contenido de materia orgánica y una relativamente alta DBO.

TRATAMIENTO SECUNDARIO: Es aquel directamente encargado de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos.

RESUMEN

En este documento, se pretende mostrar por medio de la implementación de una interfase grafica, la estandarización de los procedimientos de las rutinas de mantenimiento técnico y los procedimientos de la operación de los equipos asociados al sistema de dosificación de productos químicos de la PTAR – C; como parte inicial, se describe el proceso de la planta, para dar a conocer el área de trabajo; seguido, la teoría de rutinas de mantenimiento técnico definiendo las actividades que se realizan con los equipos involucrados en la operación.

La descripción de los equipos a tratar, se plantea al hablar de estos asociados al subsistema de dosificación de polímero y al subsistema de dosificación de cloruro férrico, mostrándolos en la interfase grafica para que el equipo técnico pueda consultar sobre cada uno de ellos.

Finalizando el documento, se describe detalladamente el proceso en los que intervienen los equipos en el área de Tratamiento Primario Avanzado (TPA) de la PTAR –C para dar a conocer las condiciones de trabajo y la carga a la cual están sometidos, datos que permiten la realización de la operación y las rutinas de mantenimiento técnico que se proponen mostrar en la interfase grafica para optimizar el desarrollo de la remoción de contaminantes sedimentables; con esta implementación de la interfase grafica, de manera sencilla, el equipo técnico de la planta, podrá consultar todo lo relacionado al área de TPA.

Con la implementación de la interfase grafica para el equipo técnico de la planta, se les hace una recomendación, en donde puede actualizarse, ya que es libre, es decir, no tiene restricción alguna para la actualización de información de los equipos que están asociados al subsistema de dosificación de polímero y al subsistema de dosificación de cloruro férrico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cañaveralejo, PTAR-C.

INTRODUCCIÓN

En los procesos que se ejecutan en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo, PTAR-C, existe la necesidad de determinar la forma apropiada de operación del sistema de dosificación de productos químicos para la remoción de sólidos del agua residual y definir los procedimientos para la realización del mantenimiento a los equipos asociados al subsistema de dosificación de polímero y al subsistema de dosificación cloruro férrico.

En el mercado existe una gran variedad de fabricantes de los equipos asociados al sistema de dosificación de los productos químicos y la PTAR- C hace uso, en el proceso que involucra, de un número significativo de estos equipos de distintas marcas, por lo que es necesario elaborar una estandarización de la rutina de mantenimiento técnico y operación de estos dispositivos y teniendo en cuenta, que aquellos equipos que conforman el sistema de dosificación de productos químicos y el principio de funcionamiento es similar para todos. Es necesario estandarizar los procedimientos de los trabajos que se ejecutan para la operación y el mantenimiento de los equipos al sistema; elaborar una estandarización de operación y desarrollar una estandarización de la rutina de mantenimiento técnico, considerando el tipo de falla es necesario escoger el tipo de mantenimiento, según las estrategias de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (metodología desarrollado por John Moubray de Aladon Ltd. con las estrategias de un buen tipo de mantenimiento), RCM2: mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo, para cada una de las marcas de estos equipos acorde a las diferencias que se presentan entre ellos.

1. PLANTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES- CANAVERALEJO (PTAR-C)

1.1 RESEÑA HISTÓRICA

Santiago de Cali, es en la actualidad una de las ciudades más importantes y con mayor crecimiento en el país.

Según estadísticas, en 1995 su población era de aproximadamente 1.900.000 con 375.000 viviendas y más de 235 barrios. Esta gran cifra y el crecimiento continuo, generó un impacto en el entorno y el medio ambiente, ocasionando un deterioro de gran magnitud en el río Cauca, al punto de estar cerca de perecer por la gran cantidad de desechos y aguas negras que arroja la ciudad a sus aguas.

La situación llegó a ser tan crítica que en 34km de su recorrido no se presentaban condiciones aptas para la vida acuática y de no tomarse acciones correctivas este número podría sobrepasar los 124 Km. para el año 2015. En la figura 1 se muestra una vista aérea de la PTAR-C.

Figura 1. Vista aérea de la PTAR-C



Fuente: Bogotana de aguas y saneamiento. Planta de tratamiento de aguas residuales de cañaveralejo. EMCALI EICE ESP. CONTRATO: GO-505-97-ALC. Manual de operación. PMO-01. Descripción general de la planta. 2da Revisión. Santiago de Cali, 2000. p. 1.

Consciente de esto, y tras una larga gestión por parte de varios periodos de administración municipal, durante la presidencia de Ernesto Samper Pizano, se obtuvo el aporte de la nación del 80% de los costos, estimados en US\$83 millones y las licencias de construcción ambiental; EMCALI E.I.C.E E.S.P inició entonces la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales, con el propósito de descontaminar el 85% de las aguas servidas que produce la ciudad, para buscar la revitalización de las actividades piscícolas, el restablecimiento de la flora y la fauna, la optimización de los costos de tratamiento de potabilización, la disminución de los riesgos en salud por utilizar aguas de riesgo contaminadas, la recuperación del valor paisajístico, turístico y recreativo de la cuenca del río Cauca.

Hoy, la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo (PTAR-C), esta construida en 22 hectáreas, entre las comunas 6 y 7, en el sitio comprendido entre la Calle 7ª del Barrio Alfonso López y la Carrera 3ª del Barrio Petecuy I, que siendo una zona densamente poblada, no causa un gran impacto en la población por el control ambiental, que incluye control de olores, monitoreo de calidad de aire y mitigación de impactos por transporte, polvo, ruido y vibración.

En este momento la PTAR-C trata aproximadamente un caudal de 3.3 m³/s de las aguas residuales de la ciudad y se planea para el 2015 manejar un caudal de operación promedio de 7.6 m³/s, con un mínimo de 4.41 m³/s y con un máximo de 12.24 m³/s, con una remoción de SST hasta del 63% y el 47% de DBO5 del agua residual y hasta el 46% de sólidos volátiles en el lodo digerido.

1.2 MISIÓN Y VISIÓN

1.2.1 Misión La misión de EMCALI es contribuir al bienestar y desarrollo de la comunidad, especialmente con la prestación de servicios públicos esenciales y complementarios, comprometidos con el entorno y garantizando rentabilidad económica y social.

1.2.2 Visión Ser una empresa publica ágil, competitiva y orientada al cliente, que nos permite convertirnos y mantenernos como la mejor alternativa en el mercado colombiano y modelo empresarial en América latina.

1.3 PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La PTAR-C es un sistema centralizado de tratamiento de aguas residuales, que fue construida y funciona según el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000, Sección II – Tratamiento de Aguas Residuales; de acuerdo a este compendio, el proceso de la PTAR-C está establecido de la siguiente forma (Ver figura 2 y anexo A):

1.3.1 Ingreso de aguas residuales El ingreso de aguas residuales a la Planta se realiza por dos conductos, impulsiones y colector central.

➤ **Impulsiones** Es un conducto que integra el agua que llega por bombeo desde tres estaciones:

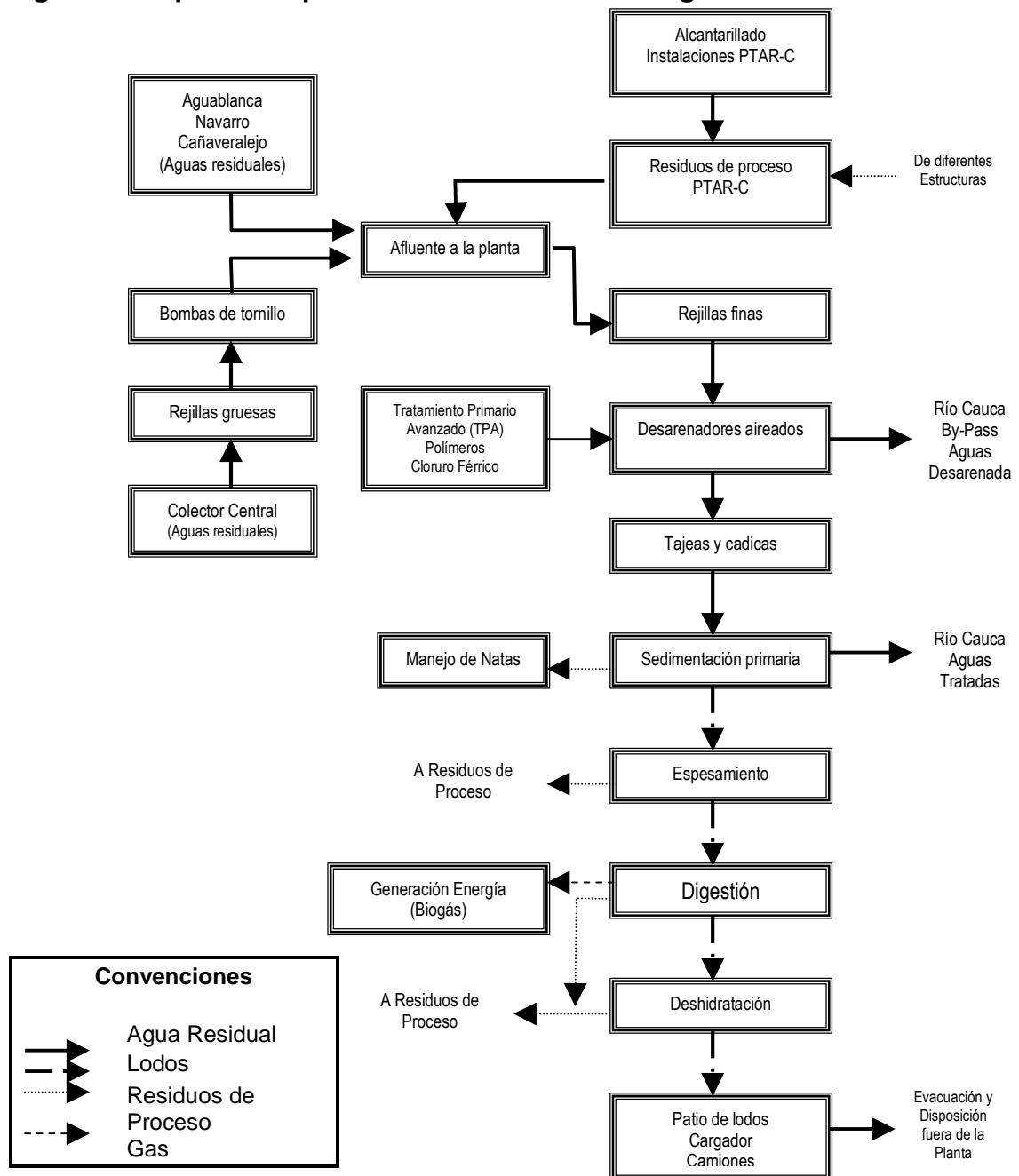
Estación de Bombeo Navarro con un caudal de $2.58\text{m}^3/\text{s}$.

Estación de Bombeo Aguablanca con un caudal de $0.90\text{m}^3/\text{s}$

Estación de Bombeo Cañaveralejo $1.92\text{m}^3/\text{s}$

La línea de impulsión que viene de la Estación de Bombeo Navarro se une con la línea de impulsión de la estación de Bombeo Agua Blanca en un punto denominado "La Cruz de Navarro" y desde allí tiene un recorrido de 2600 m. hasta la PTAR - C. La estación de bombeo Cañaveralejo se une a esta línea de impulsión en sus últimos 200 m, en tal forma que los flujos de estas tres estaciones de bombeo, ingresan a la planta por un conducto de diámetro 200 cm. que desemboca en la Cámara de Integración de Caudales.

Figura 2. Esquema de proceso del tratamiento de aguas residuales



Fuente: RODRIGUEZ GONZALES, Paola Andrea. Elaboración de un manual de procedimientos para el mantenimiento y operación de los variadores de velocidad de la PTAR-C. Santiago de Cali, 2006. p. 19. Trabajo de grado (Ingeniera Mecatrónica). Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingenierías. Departamento de automática y electrónica.

➤ **Colector central** Al colector central llegan las aguas residuales por acción de la gravedad, con un aporte de caudal de aproximadamente $2.20\text{m}^3/\text{s}$ a una tubería de 2.15 m de diámetro.

Las aguas del colector central, después de pasar por las rejillas gruesas, son elevadas por medio de un sistema de bombas de tornillo hacia la Cámara de Integración de Caudales.

1.3.2 Tratamiento preliminar El tratamiento preliminar tiene el propósito de remover sólidos grandes y arenas de las aguas residuales que van a ingresar al tratamiento. En el caso de las aguas que vienen de estaciones de bombeo, en ellas se ha realizado un cribado grueso.

Para las aguas que llegan a la Planta por el Colector Central (a gravedad), estas pasan por rejillas de 100 mm. de separación, antes de ser elevadas por las bombas de tornillo.

Una vez reunidas todas las aguas afluentes en la Cámara de Integración de Flujos, estas se reparten en seis canales en donde hay dispuestas seis rejillas con separación de 20 mm.; después de cada canal de rejillas el agua continúa a los seis desarenadores, aireados por medio de sopladores de aire. Los sólidos de las rejillas se retiran mediante un brazo automático y las arenas del fondo de los desarenadores son conducidas por un tornillo helicoidal que las conduce a un foso en el fondo de cada desarenador y de este foso se retiran por medio de una bomba eyectora accionada por agua.

1.3.3 Sedimentación primaria Una vez cribadas y desarenadas, las aguas entran a los sedimentadores primarios. Estos son tanques circulares con barredores de lodos en el fondo accionados mecánicamente. Se tienen ocho sedimentadores de 47.5 m de diámetro, dispuestos en dos grupos de cuatro sedimentadores. El agua clarificada sale de cada sedimentador por un vertedero perimetral en forma de diente de sierra y constituye el efluente del tratamiento primario que se vierte al Río Cauca.

1.3.4 Espesamiento de lodos Los lodos obtenidos en el fondo del sedimentador primario, tienen una concentración media de 2%; se pasan por una rejilla para retirar basuras y se ingresan a un espesador circular con barredor accionado mecánicamente, a fin de obtener lodos espesados a una concentración del 6% apropiada para su ingreso a los digestores de lodos.

1.3.5 Digestión de lodos Los lodos al 6% ingresan a cuatro (4) digestores anaeróbicos con cubiertas herméticas de aluminio, los cuales están provistos de un sistema de calentamiento por recirculación de una parte de los lodos del digestor en un sistema intercambiador de calor y de un sistema de agitación que se realiza recirculando parte del biogás y dispersándolo en el fondo de cada

digestor. Se espera que los sólidos volátiles que ingresan al digestor se destruyan en un 40% - 45% por la transformación anaeróbica, en tal forma que los sólidos una vez digeridos quedan estabilizados, es decir, con pocas posibilidades de continuar reacciones que produzcan gases.

1.3.6 Deshidratación de lodos El lodo digerido, es conducido a un tanque de almacenamiento y de allí es enviado por bombeo al edificio de deshidratación, en donde se dispone de siete filtros prensas de bandas (uno de reserva), encargados de producir una torta con una concentración de sólidos mayor del 22% en peso. Antes de su deshidratación, el lodo es acondicionado aplicando a la entrada de cada unidad una dosis de polímero. La torta producida no tiene consistencia fluida, es paleable y se puede almacenar a granel formando pilas; por ello es posible conducirla por medio de bandas transportadoras hasta el patio de sólidos en donde es cargada en vehículos apropiados para su transporte y disposición final.

1.3.7 Aprovechamiento de energía Son dos los principales circuitos de aprovechamiento de energía que se han dispuesto en la PTAR - C:

- El primero se refiere al aprovechamiento del Biogás producido en la digestión de los lodos, como combustible para la generación de energía eléctrica en dos conjuntos motor -generador de 1000 Kw cada uno, que posibilitan autosuficiencia de la planta en energía eléctrica. Para protección del motor de combustión interna, el biogás es sometido a una purificación que remueve el H₂S.
- El segundo se efectúa en los calentadores de lodos utilizados para que el digestor alcance la temperatura de 35°C. Una parte de lodos de cada digestor se recircula haciéndolo pasar por un intercambiador de calor; en este, se usa como fluido calefactor el agua proveniente del enfriamiento de las camisas de los motores del sistema generador de energía, cuya temperatura de entrada al intercambiador calentador de lodos es en promedio de 70°C. Mientras el lodo se calienta e ingresa a los digestores, el agua se enfría y puede ser retornada al sistema de enfriamiento de los motores.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Del conjunto de procesos que componen el tratamiento de las aguas residuales, se destacan el sistema de dosificación de productos químicos para lograr una mayor remoción de contaminantes sedimentables. Los costos de operación y mantenimiento la planta PTAR-C son especialmente sensibles a problemas en la dosificación, considerando los altos costos de estos productos.

No obstante que al grupo técnico ha dedicado un tiempo importante en la atención del mantenimiento de los equipos del sistema de aplicación de productos químicos, se viene presentando una serie de inconvenientes de funcionamiento con los equipos del sistema afectando las condiciones del proceso y de paso la

productividad de la planta, al disminuirse la remoción de contaminantes, afectando el seguimiento y regulación de estos equipos que fueron seleccionados para trabajar sin supervisión por parte de los operadores de la planta.

En consecuencia, para atender apropiadamente a las exigencias de mejoramiento en la operación y mantenimiento del sistema de aplicación de químicos, surge la tarea de estandarizar la rutina de mantenimiento técnico con el tipo de mantenimiento preventivo y correctivo que la RCM2 ha mencionado como estrategia; dicho sistema de mantenimiento ya mencionado es elaborado específicamente para las condiciones de operación de los equipos que componen el sistema de dosificación de productos químicos.

1.5 PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN

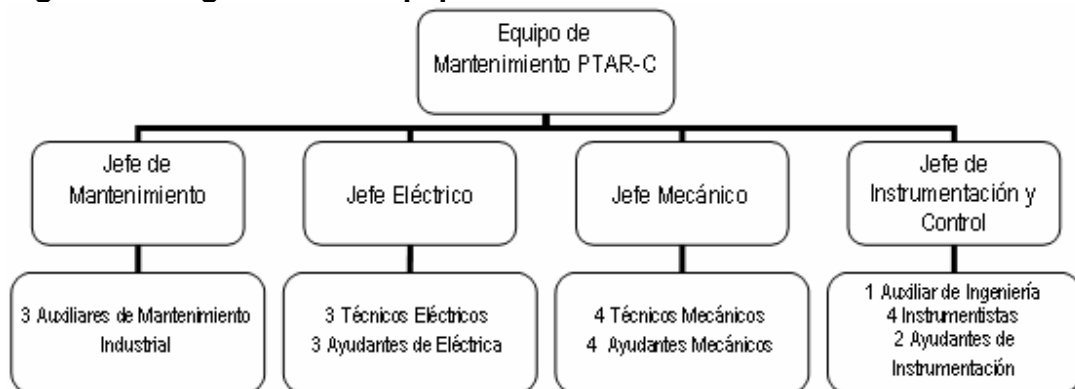
Un seguimiento a los equipos que funcionan en TPA de la PTAR es el primer paso para determinar las continuas fallas, que al presentarse, reducen la eficiencia del proceso que se lleva a cabo en la planta. Recopilada toda la información que el acceso al área y al proceso en TPA de la planta proporciona, se relacionan con los datos, manuales y recomendaciones de proveedor y fabricante, para de acuerdo a esta, determinar las falencias de los equipos que se involucran en el sistema de dosificación de productos químicos, desde la instalación hasta la operación. Con esto, se estandarizan los procedimientos de operación y las rutinas de mantenimiento técnico a seguir para desarrollar una interfase grafica para que el usuario (operador o cualquier trabajador de la planta), pueda consultar todo lo relacionado a TPA: su operación, rutinas de mantenimiento técnico y sus respectivas fallas / soluciones.

1.6 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA PTAR-C

El área de mantenimiento de la PTAR está compuesta por 4 equipos de trabajo: el equipo eléctrico, el equipo mecánico, el equipo de instrumentación y control y el equipo de mantenimiento industrial. Cada equipo se ocupa del buen funcionamiento de los dispositivos asociados a su especialidad; de esta forma, cada uno establece un cronograma de actividades de mantenimiento anual, dividido en el número de semanas correspondientes.

1.6.1 Equipo del área de mantenimiento de la PTAR-C. Los equipos de trabajo del área de mantenimiento, están compuestos por Un Ingeniero en Jefe perteneciente a EMCALI y los demás miembros técnicos y ayudantes, pertenecientes a una empresa de contratistas.

Figura 3. Integrantes del equipo del área de mantenimiento de la PTAR-C



Fuente: RODRIGUEZ GONZALES, Paola Andrea. Elaboración de un manual de procedimientos para el mantenimiento y operación de los variadores de velocidad de la PTAR-C. Santiago de Cali, 2006. p. 24. Trabajo de grado (Ingeniera Mecatrónica). Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingenierías. Departamento de automática y electrónica.

1.6.2 Tipo, forma y periodos de ejecución del mantenimiento Con el cronograma anual de mantenimiento establecido, la programación de mantenimiento es lanzada semanalmente en forma de ordenes de trabajo preventivo; de la misma forma, son relacionadas las actividades de mantenimiento llevadas a cabo, que no solo son las realizadas de forma preventiva, sino que suelen tomarse acciones correctivas ante la falla imprevista de un equipo y que son registradas también en el seguimiento de mantenimiento de toda la planta, en un software especializado para ello “Aquamaint”. Este registro debe de realizarse de forma semanal, ya que cada área de mantenimiento debe entregar las órdenes de trabajo diligenciadas especificando el trabajo realizado, los repuestos usados y los resultados obtenidos que indican la disponibilidad o no, del equipo.

Según lo anterior, se presentan dos tipos de mantenimiento en la PTAR-C, un mantenimiento preventivo, basado en la limpieza, lubricación y verificación del correcto funcionamiento del equipo, y un mantenimiento correctivo determinado por la falla imprevista y salida de funcionamiento de un equipo. Así mismo, podemos agregar un tipo de mantenimiento que si bien puede ser preventivo o correctivo, es clasificado como trabajo nuevo, que se presenta en equipos que pueden o no estar previstos en el cronograma anual de mantenimiento, pero que aun no tienen asignada una periodicidad.

La frecuencia de mantenimiento preventivo de un equipo, se realiza básicamente dependiendo de las condiciones de trabajo y las características de fabricación de este, sin tener en cuenta los periodos de reposición recomendados por el fabricante; tal es el caso de los equipos asociados al sistema de dosificación de

productos químicos, cuya frecuencia de mantenimiento depende del ambiente de trabajo que hay en el edificio de TPA. Ver las siguientes tablas:

Tabla 1. Frecuencia de mantenimiento motor tornillo y motor agitador

Zona	Línea de agua
Proceso	Tratamiento Primario
	Avanzado
Ubicación	Tanque de Polypack A y B.
	Edificio de TPA
Cantidad:	
Motor Tornillo	2
Motor Agitador	6
Frecuencia de mantenimiento	Cada 6 meses

Tabla 2. Frecuencia de mantenimiento reductor tornillo y reductor agitador

Zona	Línea de agua
Proceso	Tratamiento Primario
	Avanzado
Ubicación	Tanque de Polypack A y B.
	Edificio de TPA
Cantidad:	
Reductor Tornillo	2
Reductor Agitador	6
Frecuencia de mantenimiento	Cada 6 meses

Tabla 3. Frecuencia de mantenimiento del motovariador del agitador

Zona	Línea de agua
Proceso	Tratamiento Primario Avanzado
Ubicación	Tanque de Polypack A y B. Edificio de TPA
Cantidad Motovariador del Agitador	6
Frecuencia de mantenimiento	Cada 6 meses

Tabla 4. Frecuencia de mantenimiento bomba de la bomba dosificadora de polímero

Zona	Línea de agua
Proceso	Tratamiento Primario Avanzado
Ubicación	Edificio de TPA
Cantidad Bomba de la Bomba Dosificadora de Polímero	7
Frecuencia de mantenimiento	Cada 6 meses

Tabla 5. Frecuencia de mantenimiento motor de la bomba dosificadora de polímero

Zona	Línea de agua
Proceso	Tratamiento Primario Avanzado
Ubicación	Edificio de TPA
Cantidad Motor de la Bomba Dosificadora de Polímero	7
Frecuencia de mantenimiento	Cada 6 meses

Tabla 6. Frecuencia de mantenimiento switch de presión de la bomba dosificadora de polímero

Zona	Línea de agua	
Proceso	Tratamiento	Primario
	Avanzado	
Ubicación	Edificio de TPA	
Cantidad Switch de Presión de la Bomba Dosificadora de Polímero	7	
Frecuencia de mantenimiento	Cada 6 meses	

Tabla 7. Frecuencia de mantenimiento bomba dilución de polímero

Zona	Línea de agua	
Proceso	Tratamiento	Primario
	Avanzado	
Ubicación	Edificio de TPA	
Cantidad Bomba Dilución de Polímero	2	
Frecuencia de mantenimiento	Cada 6 meses	

Tabla 8. Frecuencia de mantenimiento bomba de la bomba dosificadora de cloruro férrico

Zona	Línea de agua	
Proceso	Tratamiento	Primario
	Avanzado	
Ubicación	Edificio de TPA	
Cantidad Bomba de la Bomba Dosificadora de Cloruro Férrico	7	
Frecuencia de mantenimiento	Cada 6 meses	

Tabla 9. Frecuencia de mantenimiento motor de la bomba dosificadora de cloruro férrico

Zona	Línea de agua
Proceso	Tratamiento Primario
	Avanzado
Ubicación	Edificio de TPA
Cantidad Motor de la Bomba Dosificadora de Cloruro Férrico	7
Frecuencia de mantenimiento	Cada 6 meses

Tabla 10. Frecuencia de mantenimiento nivometría ultrasónica prosonic FMU860

Zona	Línea de agua
Proceso	Tratamiento Primario
	Avanzado
Ubicación	Edificio de TPA
Cantidad Nivometría Ultrasónica Prosonic FMU 860	1
Frecuencia de mantenimiento	Cada 6 meses

1.6.3 Papelería generada La papelería generada, depende del mantenimiento que se haya ejecutado; así, si se trata de un mantenimiento lanzado según el cronograma anual del área, se lanza una orden de trabajo preventivo, en la que se describe el área en la que se encuentra el equipo y el área a la que le corresponde el mantenimiento, se detalla el equipo y el elemento asociado a este, se especifica el tiempo previsto para la ejecución de la labor y las acciones de mantenimiento a llevar a cabo, además de la persona a quien corresponde dichas acciones. Ver anexo B.

Si se trata de un mantenimiento correctivo, se diligencia un formato en el que el personal de instrumentación especifica el equipo, el área, la descripción de las acciones llevadas a cabo y los resultados obtenidos. Ver anexo C.

1.7 OBJETIVOS

1.7.1 Objetivo general Estandarización de las rutinas de mantenimiento técnico preventivo y correctivo de los equipos asociados al sistema de dosificación de productos químicos, con el propósito de optimizar el funcionamiento de los subsistemas de aplicación de polímero y cloruro férrico.

1.7.2 Objetivos específicos

- Desarrollar una aplicación que permita la interacción del usuario con los procedimientos estándar para la operación, de una manera sencilla, el usuario podrá desplazarse por los diferentes equipos para consultar sobre su operación.
- Analizar y caracterizar los tipos de fallas que se presenten en los equipos del sistema de dosificación de productos químicos
- Desarrollar una aplicación que permita la interacción del usuario con las rutinas de mantenimiento técnico preventivo y correctivo asociado al sistema de dosificación de productos químicos.
- Sistematizar las actividades y precauciones requeridas en la operación y en la ejecución del mantenimiento de los equipos asociados al sistema de dosificación de polímeros y cloruro férrico.

2. MANTENIMIENTO

Para el buen funcionamiento de toda empresa, se establecen políticas y estrategias que conduzcan a alcanzar la misión para la cual esta fue creada, de tal forma que esta se conviertan en un aliado de la productividad; tal es el caso de las estrategias de mantenimiento de los equipos e instalaciones productivas, para buscar la máxima eficiencia del proceso.

2.1 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO

Se define como la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantienen en, o se restablece a, un estado en el que puede realizar las funciones designadas. El mantenimiento puede ser considerado como un sistema con un conjunto de actividades que se realizan en paralelo con los sistemas de producción.

El mantenimiento también se define como el conjunto de observaciones, revisiones, ajustes, cambios y reparaciones que se ejecutan sobre un equipo y/o sistema, para alargar su vida útil y reducir costos de operación y producción.

El mantenimiento adecuado, tiende a prolongar la vida útil de los bienes, a obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallas.

2.1.1 Objetivos del mantenimiento

- Optimización de la disponibilidad del equipo productivo.
- Disminución de los costos de mantenimiento.
- Optimización de los recursos humanos.
- Maximización de la vida de la máquina.
- Evitar detenciones inútiles o paro de máquinas.
- Evitar accidentes y aumentar la seguridad para las personas.

El mantenimiento básicamente, busca reducir los tipos de fallas que se presentan, ya sean:

Tempranas: Que ocurren al principio de la vida útil.

Adultas: Son las fallas que presentan mayor frecuencia durante la vida útil. Son derivadas de las condiciones de operación.

Tardías: Aparecen en forma lenta y ocurren en la etapa final de la vida útil del bien.

2.2 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

2.2.1 Mantenimiento periódico En este tipo de mantenimiento se realizan paradas en las que se efectúan reparaciones mayores (generalmente después de un tiempo largo). Para la implementación de este tipo de mantenimiento se requiere una excelente planeación, programación e interrelación del área de mantenimiento con las demás áreas, para así realizar las acciones correspondientes en el menor tiempo posible.

2.2.2 Mantenimiento programado Consiste en determinar, mediante un estudio detallado con ayuda de datos estadísticos e información del fabricante del equipo, las partes que se deben reemplazar, así como su periodicidad para un funcionamiento correcto.

2.2.3 Mantenimiento predictivo Es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una maquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza. Las fallas del equipo se determinan mediante el uso de instrumentos de avanzada tecnología tales como espectrofotómetros, termógrafos, medidores de velocidad y aceleración, etc.

2.2.4 Mantenimiento preventivo La programación de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica en base a un plan establecido y no a una demanda del operario o usuario; también es conocido como **Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP)**.

Su propósito es prever las fallas manteniendo los sistemas de infraestructura, equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos. La característica principal de este tipo de Mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y detectar las fallas en su fase inicial, y corregirlas en el momento oportuno.

Con un buen Mantenimiento Preventivo, se obtiene experiencias en la determinación de causas de las fallas repetitivas o del tiempo de operación seguro de un equipo, así como a definir puntos débiles de instalaciones, máquinas, etc.

Ventajas del Mantenimiento Preventivo:

- Confiabilidad, los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado, y sus condiciones de funcionamiento.
- Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de equipos/máquinas.

- Mayor duración, de los equipos e instalaciones.
- Disminución de existencias en Almacén y, por lo tanto sus costos, puesto que se ajustan los repuestos de mayor y menor consumo.
- Uniformidad en la carga de trabajo para el personal de Mantenimiento debido a una programación de actividades.
- Menor costo de las reparaciones.

2.2.5 Mantenimiento correctivo Es el mantenimiento que se lleva a cabo una vez se ha presentado la falla. En este tipo de mantenimiento, es el equipo el que determina las paradas. Su función principal es la de poner el equipo en marcha lo mas rápido posible y con el mínimo costo. Puede ser de reposición o de reparación. El mantenimiento correctivo puede ser de dos formas:

- **No Planificado:** Corrección de las averías o fallas, cuando éstas se presentan, y no planificadamente, al contrario del caso de **Mantenimiento Preventivo**.

Esta forma de **Mantenimiento** impide el diagnostico fiable de las causas que provocan la falla, pues se ignora si falló por mal trato, por abandono, por desconocimiento del manejo, por desgaste natural, etc.

El ejemplo de este tipo de **Mantenimiento Correctivo No Planificado** es la habitual reparación urgente tras una avería que obligó a detener el equipo o máquina dañada.

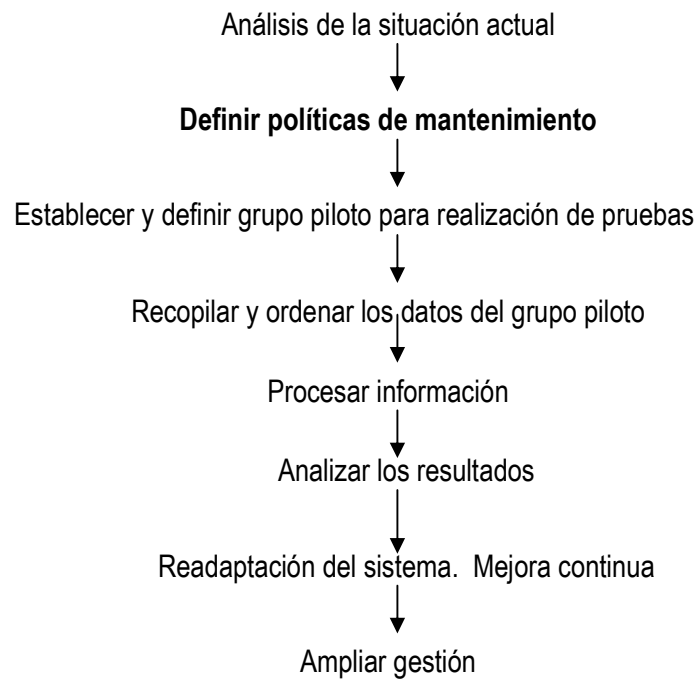
- **Planificado:** El **Mantenimiento Correctivo Planificado** consiste la reparación de un equipo o máquina cuando se dispone del personal, repuestos, y documentos técnicos necesarios para efectuarlo.

2.3 METODO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento puede verse como un proceso y como este, cuenta con una serie de pasos para su realización, por lo tanto para la implementación de una gestión de mantenimiento se podría considerar los pasos guiados por el siguiente diagrama de flujo (ver figura 4).

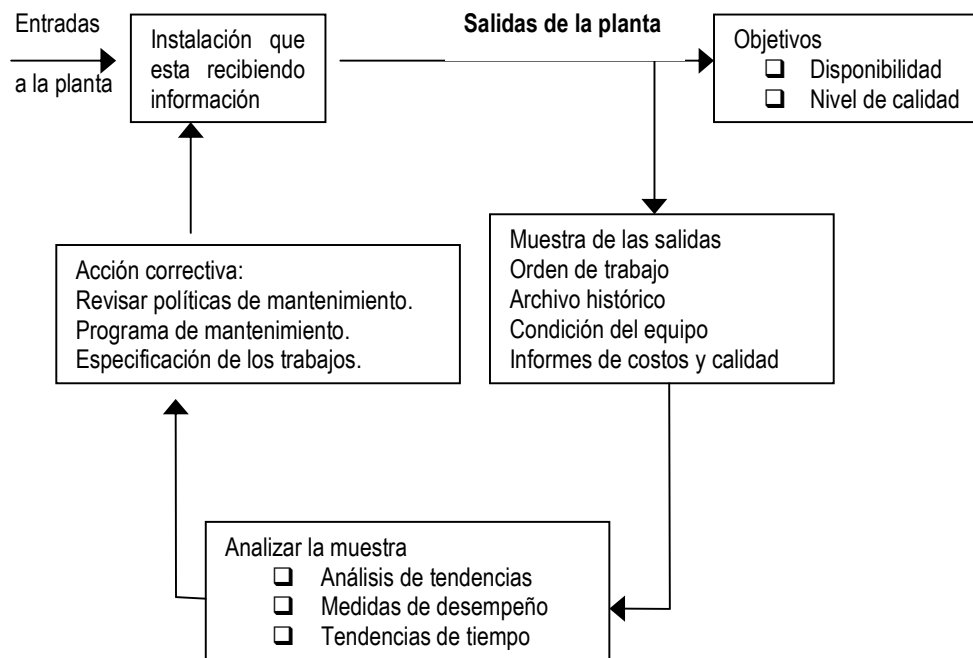
Una vez implementada la gestión de mantenimiento, la mejora continua, se basa en un ciclo de control, similar a un ciclo realimentado de control de procesos, en le que se consideran el conocimiento de las salidas del sistema, el análisis de esta salida y la acción correctiva a tomar si se hace necesaria (ver figura 5).

Figura 4. Diagrama de flujo para la gestión de mantenimiento



MOLINA, José. Mantenimiento y seguridad industrial [en línea]. México: Monografías, 2006. [consultado el 9 de noviembre de 2006] Disponible en Internet: <http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento-industrial/mantenimiento-industrial.shtml>

Figura 5. Ciclo de control de mantenimiento



Fuente: RODRIGUEZ GONZALES, Paola Andrea. Elaboración de un manual de procedimientos para el mantenimiento y operación de los variadores de velocidad de la PTAR-C. Santiago de Cali, 2006. p. 34. Trabajo de grado (Ingeniera Mecatrónica). Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingenierías.

2.4 LA IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFASE GRAFICA

Como primera medida se hace un estudio para identificar los procedimientos del equipo técnico de la planta que usan ya sea para operar y/o hacerle mantenimiento a los equipos asociados al sistema de dosificación de productos químicos; después como segunda medida, se procede hacerle un estudio a los manuales de los diferentes fabricantes de todos los equipos que existen en el área de TPA, ya que por medio de ellos muchos de estos equipos tienen los mismo procedimientos de operación y por ende el mantenimiento de estos es similar.

Una vez recopilada toda la información por los aspectos ya mencionados, se procede a la estandarización de los procedimientos de operación y la estandarización para las rutinas de mantenimiento técnico preventivo y/o correctivo de los equipos asociados al subsistema de dosificación de polímero y al subsistema de dosificación de cloruro férrico. Con toda esta información reunida, se prosigue con la realización de la interfase grafica, en el cual ayudara al equipo técnico de la planta, interactuar de manera fácil y sencilla consultar la operación, las rutinas de mantenimiento técnico, las fallas / soluciones de todos los equipos

que están asociados al sistema de dosificación de productos químicos, para la remoción de contaminantes sedimentables. También se muestra en la interfase grafica todo lo relacionado del área de Tratamiento Primario Avanzado (TPA), aquí le muestra al equipo técnico cuales son los equipos que se asocian a la dosificación de productos químicos, como es la estructura general del área y el funcionamiento de los mismos en el proceso.

En la figura 6 se mostrara de la interfase gráfica el link relacionado con la descripción del área de TPA y en la figuras 7 y 8 se muestra el link relacionado con los procedimientos estandarizados de la operación, la figura 9 se muestra el link relacionado al sistema de mantenimiento, en la figura 10 se muestra el link relacionado a las rutinas de mantenimiento técnico de los equipos asociados al subsistema de dosificación de polímero y al subsistema de dosificación de cloruro férrico, y por ultimo en la figura 11 se muestra el link relacionado a las fallas / soluciones de los equipos.

Figura 6. TPA en la interfase grafica

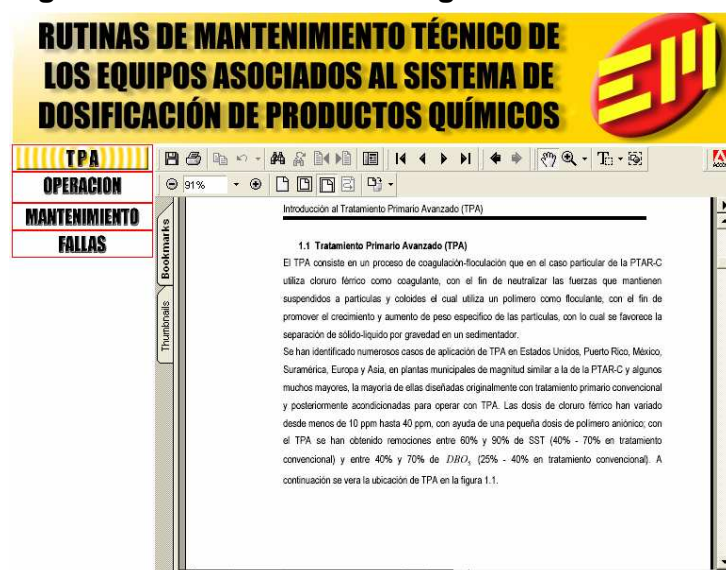


Figura 7. Operación de los equipos asociados al subsistema de dosificación de cloruro férrico



Figura 8. Operación de los equipos asociados al subsistema de dosificación de polímero

ROUTINAS DE MANTENIMIENTO TÉCNICO DE LOS EQUIPOS ASOCIADOS AL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS



TPA

OPERACION

Fe Cl 3

POLIMERO

MANTENIMIENTO

FALLAS

2.1 Polímero: Preparación y Almacenamiento

➤ Descripción General



Figura 2.1
Sistema de Preparación de Polímero

El polímero en polvo se coloca en la tolva de un equipo de preparación de polímero compacto que tiene tres compartimientos para su dilución, maduración y almacenamiento, el cual trabaja en forma continua. En el interior de la tolva de polímero esta un tornillo dosificador que regula la cantidad de polvo a diluir con el agua en cantidades de sólido y agua que se mezclan de manera controlada en el

Figura 9. Introducción al sistema de mantenimiento y su filosofía

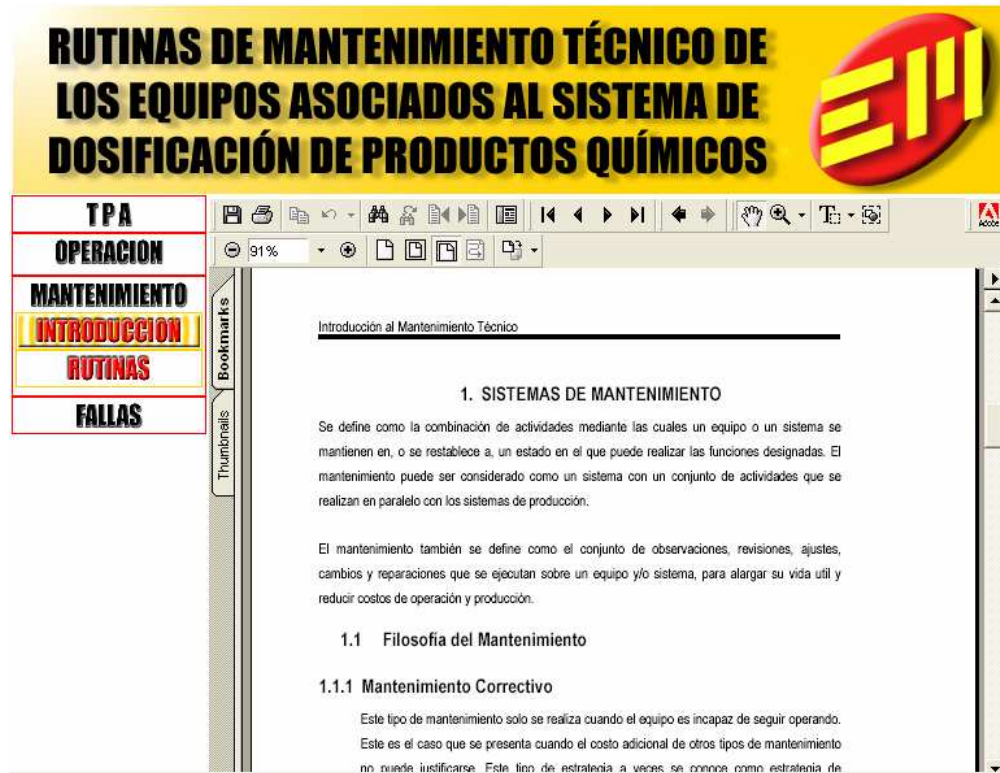


Figura 10. Rutinas de mantenimiento técnico de los equipos asociados al sistema de dosificación de productos químicos

**RUTINAS DE MANTENIMIENTO TÉCNICO DE
LOS EQUIPOS ASOCIADOS AL SISTEMA DE
DOSIFICACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS**


TPA

OPERACION

MANTENIMIENTO

INTRODUCCION

RUTINAS

FALLAS

Sección 3

Rutina de Mantenimiento Técnico

Mantenimiento Preventivo: Inspección y Verificación

Recuerde utilizar el casco, calzado de seguridad dieléctrico, guantes aislantes para baja tensión y anteojos de seguridad.

3.1 Equipos del Subsistema de Polímero

3.1.1 Unidades de Preparación de Polímero

3.1.1.1 Motor Tornillo y Motor Agitador

Aparato / Pieza	Periodo de tiempo	Acción
Motores «DTaDV, DT/DV»	* Cada 10.000 horas de funcionamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Compruebe el motor • Compruebe los rodamientos de bolas y sustituya si fuera necesario • Sustituya el relé • Limpe los conductos de ventilación
Motor con antirretorno		<ul style="list-style-type: none"> • Cambie la grasa fluida del antirretorno
Accionamiento	* Diferente en función de la instalación (depende de factores externos)	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección / mantenimiento según las instrucciones de funcionamiento adjuntas • Retoque o quite nuevamente la capa anticorrosiva de la superficie • Limpie las acumulaciones de polvo sobre el motor y las áreas de ventilación

Tabla 7 Inspección y Verificación

Figura 11. Las fallas / soluciones de los equipos asociados al sistema de dosificación de productos químicos

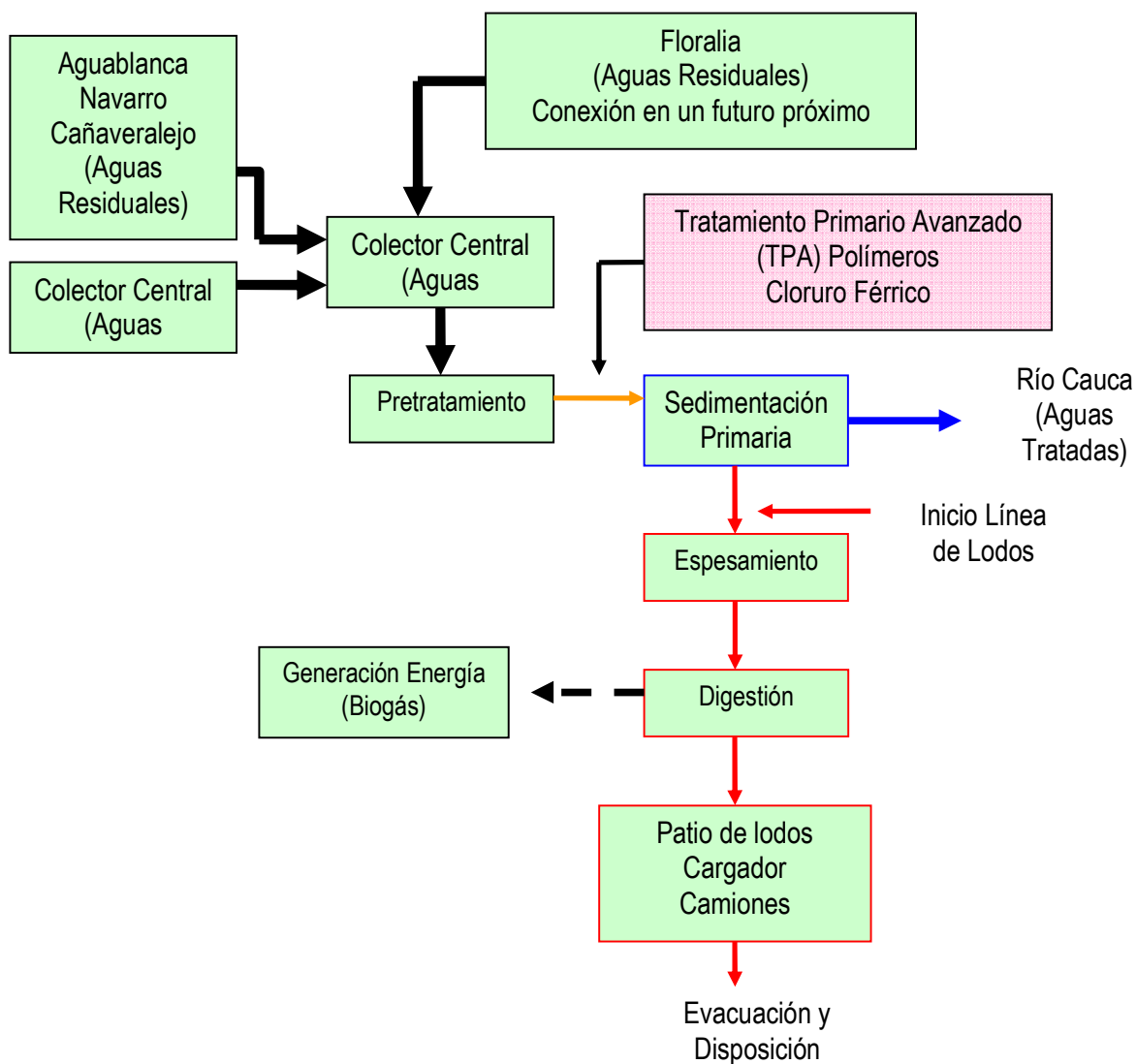


3. TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO (TPA)

El TPA consiste en un proceso de coagulación-floculación que en el caso particular de la PTAR-C utiliza cloruro férrico como coagulante, con el fin de neutralizar las fuerzas que mantienen suspendidos a partículas y coloides el cual utiliza un polímero como floculante, con el fin de promover el crecimiento y aumento de peso específico de las partículas, con lo cual se favorece la separación de sólido-líquido por gravedad en un sedimentador.

Se han identificado numerosos casos de aplicación de TPA en Estados Unidos, Puerto Rico, México, Suramérica, Europa y Asia, en plantas municipales de magnitud similar a la de la PTAR-C y algunos muchos mayores, la mayoría de ellas diseñadas originalmente con tratamiento primario convencional y posteriormente acondicionadas para operar con TPA. Las dosis de cloruro férrico han variado desde menos de 10 ppm hasta 40 ppm, con ayuda de una pequeña dosis de polímero aniónico; con el TPA se han obtenido remociones entre 60% y 90% de SST (40% - 70% en tratamiento convencional) y entre 40% y 70% de DBO_5 (25% - 40% en tratamiento convencional). A continuación se vera la ubicación de TPA en la figura 12.

Figura 12. Esquema de ubicación TPA en el proceso



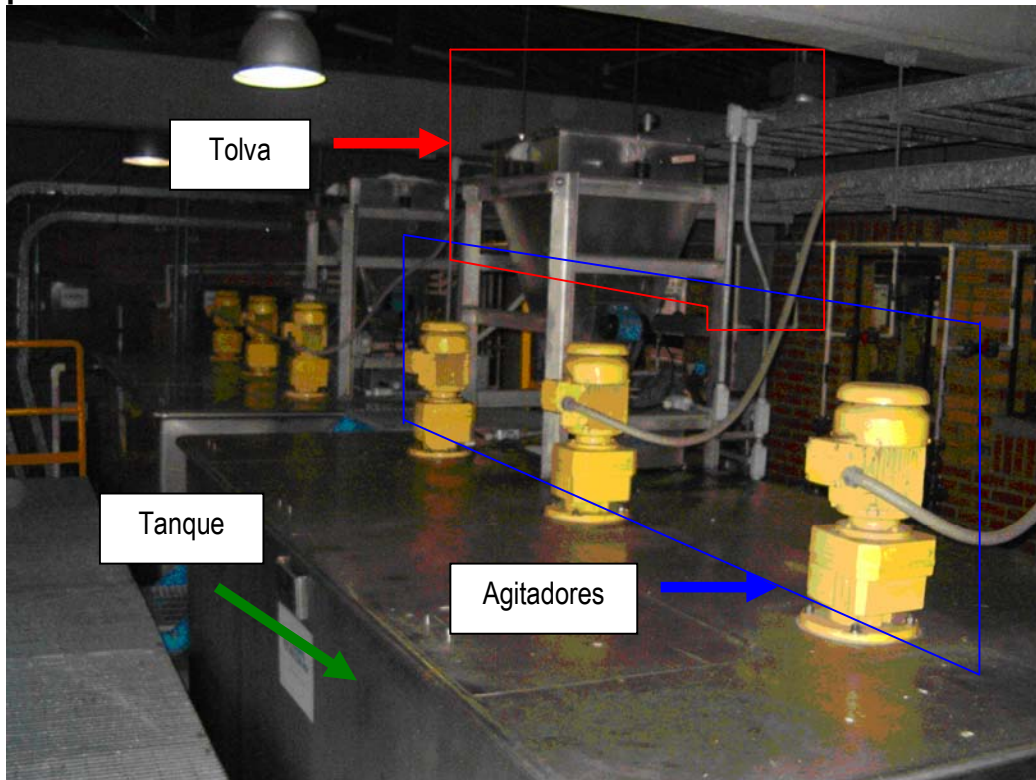
Fuente: Bogotana de aguas y saneamiento, Programa de Entrenamiento para el personal de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo. Modulo IV Tratamiento Primario Avanzado TPA 2001. p. 3.

3.1 DESCRPCIÓN GENERAL DE LAS ESTRUCTURAS

3.1.1 Polímero: suministro, almacenamiento, preparación, dosificación y transporte

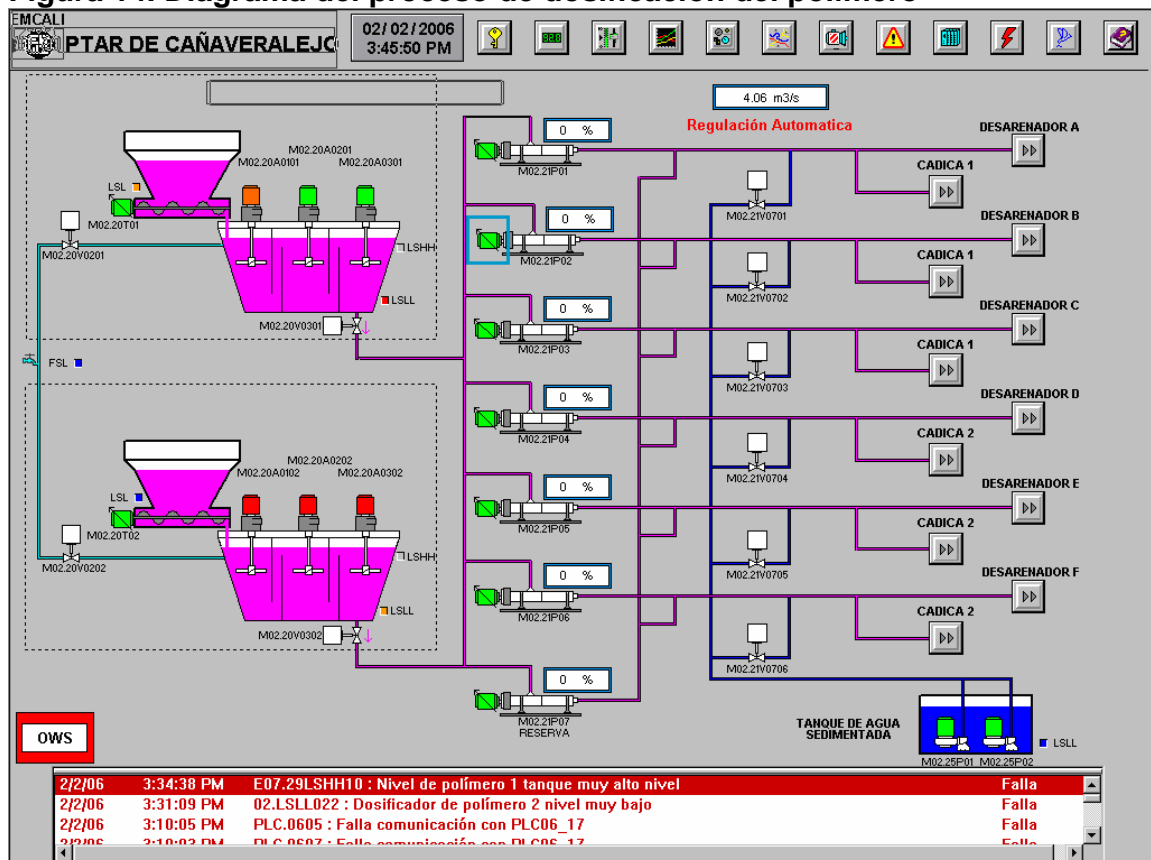
➤ **Suministro** El polímero que se propone utilizar para el TPA viene en forma sólida, presentado como polvo empacado en sacos, bolsas o tambores. La preparación del polímero exige disolverlo a una concentración intermedia entre $0.05 \frac{g}{L}$ y $0.2 \frac{g}{L}$ y luego realizar una dilución adicional a una concentración apropiada para su aplicación al agua residual, como se ven a continuación las siguientes figuras 13 y 14.

Figura 13. Tolva y motor agitadores unidad de dosificación de polímero



Fuente: Bogotana de aguas y saneamiento, Programa de Entrenamiento para el personal de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo. Modulo IV Tratamiento Primario Avanzado TPA 2001. p. 8.

Figura 14. Diagrama del proceso de dosificación del polímero



Fuente: RSview32 versión for Allen-Bradley [CD - ROM]. Colombia, Santafe de Bogotá: Rockwell Software, 1998

3.1.2 Preparación de polímero y almacenamiento El polímero en polvo se coloca en la tolva de un equipo de preparación de polímero compacto que tiene tres compartimientos para su dilución, maduración y almacenamiento, el cual trabaja en forma continua. En el inferior de la tolva de polímero esta un tornillo dosificador que regula la cantidad de polvo a diluir con el agua en cantidades de sólido y agua que se mezclan de manera controlada en el primer compartimiento, bajo mezcla mediante un agitador mecánico, para obtener una solución cuya concentración se puede definir por el operador (entre 1.0 y $2.5 \frac{g}{L}$); el segundo y el tercer compartimiento del equipo, proveen la mezcla mediante un agitador mecánico y el tiempo necesario, entre 30 minutos y una hora, para la maduración de la solución; la succión de las bombas dosificadoras de polímero se conecta al inferior del tercer compartimiento del equipo de preparación de polímero.

Características de las unidades de preparación de polímero:

- Numero: 2, uno en stand by.

- Volumen unitario tanque de la unidad: 8000L.
- Potencia Agitadores: 2x1.5 KW y 1x0.75KW.
- Variación de Velocidad del Tornillo Dosificador: por motovariador.
- Tolva de Carga de Polímero: 200L.
- Accesorios de la Tolva: Cinta calefactora y vibrador.

3.1.3 Bomba dosificadora de polímero Se tiene dispuestas seis bombas dosificadoras de polímero, una por cada desarenador, mas una bomba de reserva instalada con accesorios y conducciones de tal forma que puede suplir el funcionamiento de cualquiera de las otras seis bombas, como se ve en la figura 15. La succión de estas bombas esta conectada al ultimo compartimiento del equipo de preparación de polímero e inyectan el polímero, después de recibir una dilución en línea con agua de pozo, en el vertedero de salida de cada desarenador o en la cadica respectiva de ingreso a los sedimentadotes, según lo decida el operador.

- Número de Bombas: 7, seis en funcionamiento y una en stand by.
- Tipo: desplazamiento positivo, cavidad progresiva.
- Caudal de bombeo: $0.4 - 2.0 \frac{m^3}{h}$
- Presión: 2bar.
- Potencia unitaria: 0.37KW, para variador de frecuencia.
- Velocidad de rotación de la bomba: 145 – 790rpm.
- Control de Velocidad: por variador de frecuencia.

Figura 15. Bombas dosificadoras polímero



Fuente: Bogotana de aguas y saneamiento, Programa de Entrenamiento para el personal de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo. Modulo IV Tratamiento Primario Avanzado TPA 2001, p. 9.

3.1.4 Bombas de agua de dilución para el polímero Como se menciona antes, el polímero debe estar en una dilución apropiada para que su aplicación en el agua residual sea efectiva. Esta dilución se consigue agregando agua en la línea de impulsión de las bombas dosificadoras, consiguiendo que la solución se aplique a concentraciones del orden de 0.05 a $0.2 \frac{g}{L}$ de polímero. Se aclara que esta concentración final de aplicación del polímero es característica del polielectrolito que se usa y puede variar de un producto a otro, por lo cual en planta se deben ajustar las concentraciones intermedias y finales de las soluciones de polímero, tanto en el equipo de preparación como en el agua de dilución.

- Número de Bombas: 2, una en stand by.
- Tipo: Centrifuga horizontal.
- Caudal de bombeo: $90 \frac{m^3}{h}$.
- Presión de descarga: 1.5bar.
- Potencia unitaria: 5.5KW.

3.1.5 Cloruro férrico: suministro, almacenamiento y dosificadores Los tanques y bombas de cloruro férrico están ubicados en la parte de atrás del edificio de sopladores entre las dos baterías de sedimentación, para entender mejor el sistema de dosificación del cloruro férrico se muestra la figura 18.

El cloruro férrico llega a la planta en camiones tanque, a una concentración que puede variar entre el 38% y 45% en peso como $FeCl_3$, y es descargado a dos tanques de almacenamiento de $50m^3$ de capacidad cada uno, desde los cuales se dosifica mediante bombas de membrana a la entrada de cada desarenador. El proveedor del cloruro férrico debe disponer la bomba de trasiego para esta solución desde el camión tanque hasta que los tanques de almacenamiento de la planta, como se ve en la figura 16.

Tanque de almacenamiento de cloruro férrico

- Numero: 2
- Volumen: $50m^3$
- Forma: Cilíndrica.
- Altura Total: 6.3m
- Diámetro: 3.2m
- Material de construcción: FRP - Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio.

Figura 16. Tanques para almacenamiento de cloruro férrico



Fuente: Bogotana de aguas y saneamiento, Programa de Entrenamiento para el personal de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo. Modulo IV Tratamiento Primario Avanzado TPA 2001. p. 5.

Los tanques cilíndricos están ubicados dentro de un tanque rectangular en concreto de 1.40m de alto que tiene la capacidad necesaria para almacenar el mismo volumen de los tanques en caso de fuga del $FeCl_3$. Ver a continuación la figura 16.

Bomba Dosificadora de Cloruro Férrico

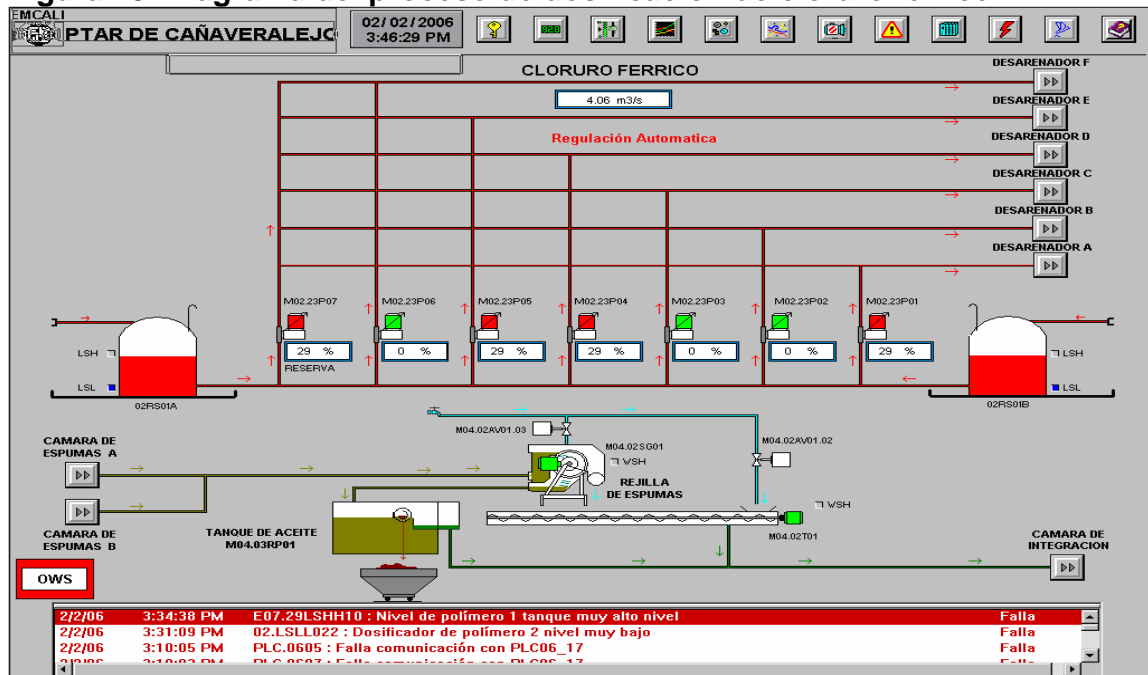
- Numero: 7, una por cada desarenador mas una de reserva, ver la figura 17.
- Tipo: A membrana
- Caudal de bombeo: $0 - 79.2 \frac{L}{h}$
- Presión de Descarga: 10bar.
- Potencia Unitaria: 0.37KW
- Sitio de Succión: Fondo de los tanques de almacenamiento de Cloruro Férrico.
- Sitio de inyección: Entrada de los desarenadotes, aprovechando la mezcla suministrada por los difusores de aire.

Figura 17. Bombas para cloruro férrico



Fuente: Bogotana de aguas y saneamiento, Programa de Entrenamiento para el personal de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo. Modulo IV Tratamiento Primario Avanzado TPA 2001. p. 6.

Figura 18. Diagrama del proceso de dosificación de cloruro férrico



Fuente: RS - view32 versión for Allen-Bradley [CD - ROM]. Colombia, Santafe de Bogotá: Rockwell Automation, 1998

3.2 FUNCIONAMIENTO DE TPA

3.2.1 Ensayo de Tratabilidad El ensayo de jarras es una de las herramientas más importantes en el control del proceso de coagulación química de aguas. Entre otros, sirve para los siguientes propósitos:

- Selección del tipo de coagulante mas efectivo.
- Determinación del pH óptimo de coagulación.
- Evaluación de la dosis óptima de coagulante.
- Determinación de la dosis de ayudas de coagulación.
- Determinación del orden más efectivo de adición de diferentes productos químicos.
- Determinación de los niveles óptimos de mezcla, gradientes de velocidad y tiempos de mezcla.
- Evaluación de la calidad del agua tratada.
- Evaluación de la necesidad de proveer floculación y sedimentación previa a la filtración o factibilidad de filtración directa.
- Permite calcular consumos y costos aproximados de sustancias químicas.

Este ensayo ha sido ampliamente utilizado; sus resultados tienen gran aplicabilidad en el diseño y la operación real de las unidades de tratamiento, así como en la optimización de plantas existentes.

En el ensayo de jarras se simulan las condiciones de la planta; por ejemplo, las rpm del agitador y el tiempo de sedimentación depende completamente de las condiciones de la planta.

El procedimiento requiere como datos previos mínimos los valores de pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua cruda o agua a tratar. La unidad de mezcla típica consiste en una serie de agitadores de paletas acoplados mecánicamente para operar a la misma velocidad.

3.2.2 Dosificación Cloruro Férrico Los tanques proveen de cloruro férrico ($FeCl_3$) a las bombas que lo envían al principio de los desarenadores dependiendo del caudal que esta llegando a la planta. Son seis bombas, una para cada desarenador, mas una en stand by.

3.2.3 Dosificación Polímero

➤ **Funcionamiento unidades de preparación de polímero** La función del sistema de dosificación de polímero es la de preparar la solución de reactivo, a partir del polímero en polvo, para la inyección en la línea de agua al final de los desarenadores.

El polímero en polvo se almacena en la tolva para alimentar el dosificador que regula la cantidad de reactivo a diluir con el agua, con el fin de obtener una solución a $2.5 \frac{g}{L}$.

➤ **Funcionamiento bombas dosificadoras de polímero** La función de las bombas dosificadoras es la de inyectar la solución de polímero de acuerdo con el caudal de agua de la planta.

Las válvulas de dilución permiten diluir la solución de polímero antes de su inyección en la línea de agua.

➤ **Funcionamiento bombas de agua de dilución** La función de estas bombas es la de alimentar agua de dilución a las válvulas de las bombas dosificadoras.

4. CONCLUSIONES

- Se llegó a la estandarización de las rutinas de mantenimiento técnico preventivo y correctivo de los equipos asociados al sistema de dosificación de productos químicos, mediante un estudio y una recopilación de información en los manuales de los diferentes fabricantes y de los procedimientos del grupo técnico de la planta que aplicaban a los equipos asociados al subsistema de dosificación de polímero y cloruro férrico, para la optimización de remoción de contaminantes sedimentables.
- Se desarrolló la interacción del usuario con los procedimientos estandarizados de la operación, por medio de una interfase gráfica, en el cual el usuario de manera sencilla, se desplazara por los diferentes equipos para consultar su operación.
- Con el grupo técnico de la planta, se identificaron los tipos de fallas que se podrían presentar en los equipos del subsistema de dosificación de polímero y cloruro férrico, mediante un seguimiento continuo a cada uno de los diferentes equipos.
- Se desarrolló la interacción del usuario con los procedimientos estandarizados de las rutinas de mantenimiento técnico preventivo y correctivo, por medio de una interfase gráfica.
- Se alcanzó la sistematización de las actividades y precauciones requeridas para la operación y ejecución del mantenimiento de los equipos asociados al sistema de dosificación de polímeros y cloruro férrico. Se recomienda la actualización permanente de la base de datos de la interfase gráfica.

BIBLIOGRAFIA

BALDOR. Integral Horsepower AC Induction Motors ODP, WPI, WPII Enclosure TEFC Enclosure Explosion Proof: Installation & operation manual. Smith, Florida, 2006. 20 p.

BOGOTANA DE AGUAS Y SANEAMIENTO. Programa de Entrenamiento para el personal de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo. Modulo VI Ensayo de Jarras. Santiago de Cali, 2002. 22 p.

-----. Planta de tratamiento de aguas residuales de cañaveralejo. EMCALI EICE ESP. CONTRATO: GO-505-97-ALC. Manual de operación. PMO-01. Descripción general de la planta. 2da Revisión. Santiago de Cali, 2000. 476 p.

-----. Programa de Entrenamiento para el personal de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo. Modulo IV Tratamiento Primario Avanzado TPA. Santiago de Cali, 2001. 21 p.

Bomba Dosificadora mRoy A&B [en línea]: Manual de instrucciones para instalación, operación y mantenimiento. Inglaterra: Dosapro Milton Roy, 2006. [Consultado 09 de Noviembre, 2006]. Disponible en Internet: http://www.moyno.com/website/literature/pod_spanish_pdf.php?product=1000_sm&title=1000Pump-SpanishVersion

Control electrónico de capacidad mRoy A & B [en línea]: Manual de instrucciones. Inglaterra: Dosapro Milton Roy, 2006. [Consultado 09 de Noviembre, 2006]. Disponible en Internet: http://www.miltonroy.com/Files/Milton_Roy/Global/US-en/product_files/339-0002-0005_mRoy_A.B_Control_electronico_de_capacidad4-1

CORTES M., Elkin Alonso. Fundamentos de Mantenimiento de Maquinaria y Equipo Mecánico. Palmira, 1995. 100 p. Universidad Nacional De Colombia Sede Palmira Departamento De Ingeniería.

DOSAPRO MILTON ROY. Bomba Dosificadora mRoy A&B: Manual de instrucciones para instalación, operación y mantenimiento. Madrid, 1999. 32 p.

-----. Control electrónico de capacidad mRoy A & B: Manual de instrucciones. Madrid, 1994. 24 p.

DUFFA, Salih O; RAOUF, A; CAMPBELL, Jhon Dixon. Sistemas de mantenimiento: Planeación y control. México: Limusa Wiley, Grupo Noriega Editores, 2002. 6 p.

FLYGT. Bomba de dilución: instalación, servicio y mantenimiento. Santafe de Bogotá, 2000. 22 p.

Integral Horsepower AC Induction Motors ODP, WPI, WPII Enclosure TEFC Enclosure Explosion Proof [en línea]: Installation & operation manual. Estados Unidos: Baldor, 2006. [Consultado 09 de Noviembre, 2006]. Disponible en Internet: <http://www.baldor.com>

JOSE, Molina. Mantenimiento y seguridad industrial [en línea] México: Monografías, 2006. [consultado 09 de Noviembre, 2006]. Disponible en Internet: <http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento-industrial/mantenimiento-industrial.shtml>

Las bombas moyno 1000 [en línea]: Manual de servicio. Estados Unidos: Moyno, [consultado 09 de Noviembre, 2006]. Disponible en Internet: http://www.moyno.com/website/literature/pod_spanish_pdf.php?product=1000_sm&title=1000Pump-SpanishVersion

Motores asíncronos trifásicos abiertos [en línea]: Instalación y mantenimiento. Estados Unidos: Leroy Sommer, 2006. [Consultado 09 de Noviembre, 2006]. Disponible en Internet: http://www.leroy-somer.com/documentation_pdf/notices_pdf/2197b_es.pdf#search=%22leroy%20somer%2Bmotor%20asincrono%22

Motores de CA / motores freno de CA antiexplosivos [en línea]: Instrucciones de funcionamiento. Madrid: Sew Eurodrive, 2002. [Consultado 09 de Noviembre, 2006]. Disponible en Internet: http://www.sew-eurodrive.com.co/informacion_tecnica.html
http://www.sew-eurodrive.es/documentacion/index_document.htm

Reductores serie R..7, F..7, K..7, S..7, Spiroplan W [en línea]: Instrucciones de funcionamiento. Madrid: Sew Eurodrive, 2002. [Consultado 09 de Noviembre, 2006]. Disponible en Internet: http://www.sew-eurodrive.com.co/informacion_tecnica.html
http://www.sew-eurodrive.es/documentacion/index_document.htm

Sew eurodrive. Motores y motores freno tri y monofásicos, motores par y accesorios: montaje, puesta en servicio, mantenimiento. Santafe de Bogota, 1996. 100 p.

----- Reductores serie R..7, F..7, K..7, S..7, Spiroplan W: manual de utilización + Instrucciones de mantenimiento. Santafe de Bogota, 1998. 76 p.

----- Varimot, reductor con variador mecánico antiexplosivo y opciones: instrucciones de funcionamiento. Santafe de Bogota, 2000. 31 p.

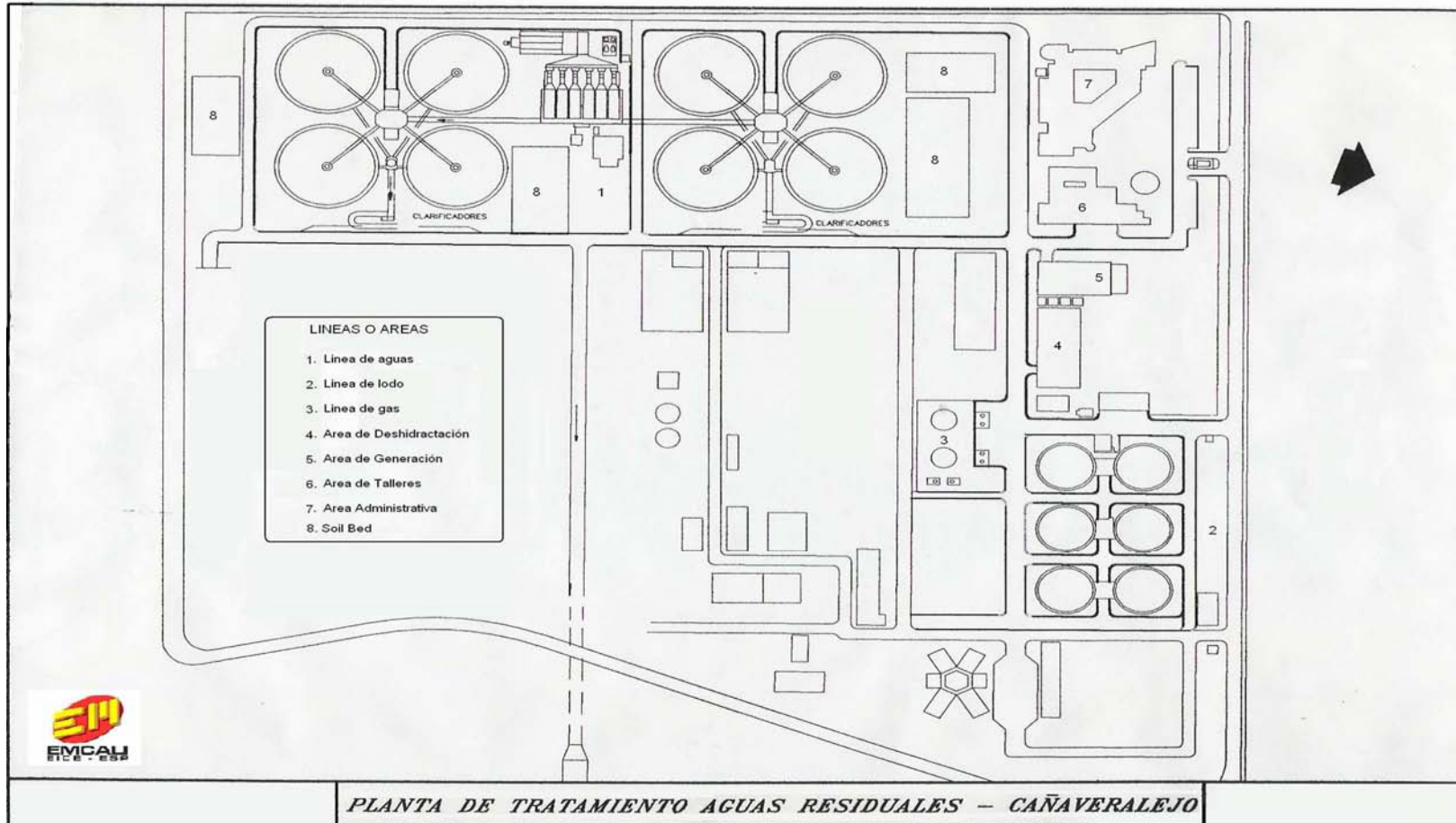
Tipos de mantenimiento industrial [en línea]: el mantenimiento correctivo. Solo mantenimiento. México, 2006. [Consultado 09 de Noviembre, 2006]. Disponible en Internet: http://www.solomantenimiento.com/m_correctivo.htm

Tipos de mantenimiento industrial [en línea]: el mantenimiento preventivo. Solo mantenimiento. México, 2006. [Consultado 09 de Noviembre, 2006]. Disponible en Internet: http://www.solomantenimiento.com/m_preventivo.htm

Varimot, reductor con variador mecánico antiexplosivo y opciones [en línea]: Instrucciones de funcionamiento. Madrid: Sew Eurodrive, 2003. [Consultado 09 de Noviembre, 2006]. Disponible en Internet:
http://www.sew-eurodrive.com.co/informacion_tecnica.html
http://www.sew-eurodrive.es/documentacion/index_document.htm

ANEXOS

Anexo A. Distribución PTAR-Cañaveralejo



Anexo B. Modelo de orden de trabajo preventivo

Orden de trabajo PREVENTIVO Equipo No. XXXXX <i>(Programado)</i>			
Sector Centro Eje Unidad Equipo Componente Subc.	Nombre Santiago de Cal AREA INSTRUMENTACIÓN	Código Call PTA-R-C/I XXXX XXXX XXXX	
Identificación			
Marca: Definición de la OIM Especialidad Vencimiento	Marca del equipo Acción a realizar en el equipo Estudiante acompañante (Sena o Universitario) Instrumentista o Auxiliar Morelco Frecuencia de ejecución	Tipo: Duración prevista Duración real O.T prevista: O.T lanzado Fecha límite de ejecución O.T planificada: O.T ejecutada:	Del Equipo Teórica Práctica Fechas relacionadas con el lanzamiento de la orden
EMCAU: RESPONSABLE PLANIFICACIÓN Y ANALISIS – MORELCO: RESPONSABLE EJECUCIÓN Instrumentación (Ins) Cesar Tulio Delgado			
EQUIPOS			
DESCRIPCIÓN			
Coordine esta actividad con el área de procesos Acciones previstas en la orden para su ejecución en el tiempo precisado por la fecha límite de ejecución. XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX			
RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD: Recomendaciones a tener en cuenta en la ejecución de la actividad			
RESULTADOS			
DOCUMENTOS			
RESUMEN			
O.T terminada por: Persona quien lanzó la orden Tipo de intervención Valor contador 0		Elemento Gráfico Un. Valor medido	
INTERVINIENTES Nombre del Instrumentista o Auxiliar de instrumentación a cargo del mantenimiento FIRMA: Estudiante Universitario: XX h XX h			
Mano de obra Lubricantes Diversos Piezas	DESCRIPCIÓN Estudiante Universitario Instrumentista Morelco Elementos usados	Vr Unit. 0.00 0.00 0.00	Cant. 1.00 h Duración prevista 1.00 h de la actividad 0.00 u 0.00 u 0.00 u
Fecha XXXX/XXXX Aquamaint			

Anexo C. Modelo orden de trabajo no planificado



EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI E.I.C.E. - E.S.P.
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CAÑAVERALEJO - PTAR / C
AREA DE MANTENIMIENTO

ORDEN DE TRABAJO: ☐ CORRECTIVO ☐ NUEVOS ☐ PREVENTIVO

UBICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO ATENDIDO			
FASE:			
EQUIPO:			TAG:
AREA RESPONSABLE DEL MANTENIMIENTO			
AREA:			
Ing:			FIRMA:
FECHA:			DURACION:
DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD A REALIZAR			
*** CULIENSIS COMPLETAMENTE ESTE FORMATO ***			
RESULTADOS OBTENIDOS			
ESTADO FINAL DEL EQUIPO			
<input type="checkbox"/> DISPONIBLE <input type="checkbox"/> NO DISPONIBLE			
INTERVINIENTES			
NOMBRE	CARGO	FIRMA	Resp. Espec. Mexico
REPUESTOS EMPLEADOS			
DESCRIPCION			CANTIDAD
ACEITES GRASAS E INSUMOS EMPLEADOS			
DESCRIPCION			CANTIDAD

OT 00000000

20/11/2004

Donel Varela